

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-13357

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月16日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/17			H 0 4 B 9/00	J
10/16				E
H 0 4 J 14/00				
14/02				

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平8-162611

(22) 出願日 平成8年(1996) 6月24日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 福知 清

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内

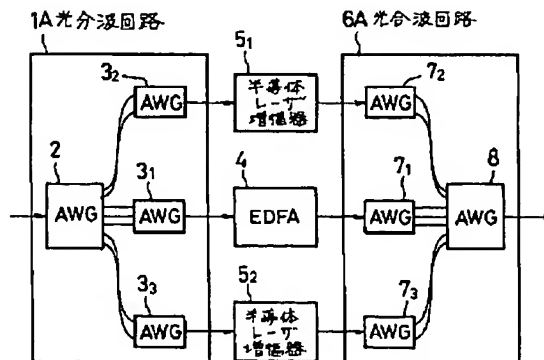
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバ通信、特に波長多重光ファイバ通信システムにおいて、広い帯域にわたる波長多重信号を一括して増幅し、高パワーの信号光を出力する簡易な構成の光増幅器を提供する。

【解決手段】 光分波回路1は、例えばAWG2によって全チャネルを一旦分離した後に、AWG3₁～3₃でグループごとに波長多重を行う。分割された波長グループはそれぞれの波長帯域に応じた適当な光増幅素子であるエルビウム添加光ファイバ増幅器4や半導体レーザ増幅器5₁、5₂によって増幅された後、光合波回路6によって再び合波される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の波長を多重した光を、1波以上を含む複数のグループに分離する光分波器と、前記各光分波器からの光を増幅する複数の光増幅素子と、前記複数の光増幅素子からの光を波長多重する光合波器を有する光増幅器。

【請求項2】 前記光増幅素子は増幅率が一定となるよう制御されている請求項1記載の光増幅器。

【請求項3】 前記光分波器は、入力した波長を1波ずつに分離する波長分離素子と、前記波長分離素子からの光をグループごとに合波する複数の光合波素子で構成されている請求項1または2記載の光増幅器。

【請求項4】 前記光分波器への入力光の一部を取り出すための光カプラと、取り出された光に含まれる複数の光の各波長を検出する波長検出手段と、前記光カプラの他方の分岐出力に接続される前記波長分離素子と前記光合波素子の間に設けられた光スイッチと、前記波長検出手段の信号を用いて前記光スイッチにより前記複数の光増幅素子へ入射する波長数をそれぞれ制御する制御手段をさらに有する請求項3記載の光増幅器。

【請求項5】 前記光分波器は、入力光を複数に分岐する光分岐回路と、前記光分岐回路の出力に接続され所定の帯域を切り出す複数の光バンドパスフィルタで構成される請求項1記載の光増幅器。

【請求項6】 前記光バンドパスフィルタの透過中心波長および帯域を自由に設定できる請求項5記載の光増幅器。

【請求項7】 前記設定は、縦続に接続され、透過帯域が固定で透過中心波長を自由に設定できる2つの光バンドパスフィルタの透過中心波長の制御によって行う請求項6記載の光増幅器。

【請求項8】 前記光分波器への入力光の一部を取り出す光カプラと、取り出された光に含まれる複数の波長を検出する波長検出手段と、前記複数の光増幅素子に入射する波長数を前記光バンドパスフィルタの透過中心波長および帯域によって制御する制御手段を有する請求項6または7記載の光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光ファイバ通信装置に用いられる光増幅器に関し、特に複数の波長を多重して伝送を行う波長多重伝送用の光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、エルビウム添加光ファイバ増幅器（以下EDFAと称す）の小型化、高性能化にともない、このEDFAを光ファイバ通信システムの中継器として用いる光直接増幅中継伝送システムの開発が盛んに進められている。光直接増幅中継伝送システムは、中継する信号の変調方式や変調速度を選ばないため、柔軟性の高い伝送システムとして既に実用化が始められてい

る。ここで用いられるEDFAは20から30nmと広い波長範囲にわたる光を増幅することが可能であるため、波長多重した信号光を一括して増幅することが可能である。この特徴を生かして、波長多重伝送により一本の光ファイバで伝送できる容量を拡大する波長多重光ファイバ通信システムの研究が活発になっている。例えば、EDFAのほぼ全増幅帯域にあたる33nmの波長範囲の中に変調速度20Gbpsで変調された5波長多重信号（合計1.1Tbps）を、光ファイバ150kmにわたって中継伝送させた実験例が最近報告されている（H.Onaka, et. al, "1.1 Tb/sWDM Transmission over a 150km 1.3mm Zero-Dispersion Single-Mode Fiber," Optical Fiber Communication Conference OFC '96, postdeadline papers, PD19, San Jose, CA, 1996.）。

【0003】このような波長多重伝送方式では、光中継器の出力パワーがシステムの重要なパラメータとなる。光直接増幅中継伝送システムでは、光中継器から雑音となる自然放光（以下ASEと称す）が発生して伝送光の信号対雑音比（以下SN比）を劣化させる。このため、光中継器からの信号出力レベルをある程度高く保つ必要がある。特に、波長多重光を一括して増幅する場合、入力するチャネル数に比例して光増幅器に高い飽和出力パワーが要求される。これに対して、EDFAでは励起光源の高性能化によって最大光出力パワーが23dBm（200mW）を越える増幅器の例が報告されており、波長多重伝送に適した光増幅器である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】今後波長多重伝送により伝送容量のさらなる拡大が要求される場合、現存のEDFAではその増幅帯域が30nm程度と限られているため、この帯域内に配置できる波長数の限界によって伝送容量が制限される。波長間隔は主に近接チャネルからのストロークにより制限され、その最小値は伝送速度のおよそ3倍となる。例えば、伝送速度が20Gbpsに対して30nmの帯域に配置できる最大波長数は63となり、総伝送容量の上限は1.26Tbpsとなる。したがって、より大きい伝送容量を達成するためには、光増幅器により広い帯域が要求される。

【0005】これに対して、半導体光増幅器は100nmという広い増幅帯域を有しており上記の目的に対して適当なデバイスである。しかし、半導体増幅器はEDFAに比べて飽和光出力レベルが数dBmと低いため、多波長多重信号を一括増幅するとチャネルあたりの最大出力パワーは大幅に小さくなる。この結果、伝送路中での信号対雑音比が大幅に劣化するため、中継間隔を短くするなどの回避策を用いない限り良好な伝送を実現できない。

【0006】本発明の目的は、広い範囲にわたる波長多重信号を、伝送に必要なSN比を保つことができる出力

パワーに一括増幅することが可能な光増幅器を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の光増幅器は、複数の波長を多重した光を、1波以上を含む複数のグループに分離する光分波器と、前記各光分波器からの光を増幅する複数の光増幅素子と、前記複数の光増幅素子からの光を波長多重する光分波器を有する。

【0008】本発明の光増幅器は、増幅する信号の帯域を分割して各帯域に含まれる波長ごとに別々の光増幅素子によって増幅を行う。各光増幅素子では、その飽和出力パワーとシステムが必要とするチャンネルあたりのパワーによって、入射する波長数が決定される。これらの別々に増幅された光を光合波器によって波長多重して伝送路に送出する。この構成をとることにより、各チャンネルの出力パワーは光増幅器の飽和出力パワーで制限されることなく、システムが必要とする値とすることができ

る。従来の技術で述べた通り、光増幅素子には出力可能な最大パワーに制限がある。この特性のため、例えば n 波の波長多重光を増幅する場合、各波の最大出力は飽和パワーの $1/n$ になる。この値がシステムの所要値に満たないことが問題となる。これに対して、本発明のように光増幅素子を複数用意し、各光増幅素子に入射する波長数を飽和出力に応じて適当に制限すれば、全チャンネルをシステムの所要出力とすることができる。言い換えれば、各光増幅素子の飽和出力パワーの制限を受けず波長多重項の一括増幅ができていことになるわけである。

【0009】ところで、本発明では、用いられる波長多重光のチャンネル数や各チャンネルの波長が固定であれば光分波器も構成は一意に決まる。これに対して、現在研究されている波長ルーティングを用いた光ネットワークでは通信する相手によってパスが変化するため、伝送路中の光増幅器に入射するチャンネル数や波長が変動する。通常、光増幅器では全出力パワーが一定になるよう制御されるため、光増幅素子に入射する波長数が変動すると各チャンネルのパワーも変動する。この変動を抑えるために、光増幅器の入力部にチャンネル数および波長を検出する機能を設け、この情報に応じて光分波器により分割帯域を制御する。これにより、光増幅素子出力において各チャンネルのパワーが一定値に保たれる。

【0010】すなわち、光増幅素子を増幅率一定に制御しておけば、素子に入射する波長数が変わっても各波長が受ける増幅率が一定なので、素子への入力パワーが変わらなければ出力パワーが一定に保たれる。素子への入力パワーは通常前段の光送信器もしくは光増幅器の出力レベルおよび伝送路光ファイバの損失で決まるが、これらが変化することはほとんどないので、入力パワーは一定値となり、この結果出力も一定となる。光増幅器の場合、通常全出力パワー一定の制御が行われるが、そうすると素子に入力する波長数が変化すると各チャンネルあた

りのパワーが変化してしまう。

【0011】本発明の実施態様によれば、前記光増幅素子は増幅率が一定となるよう制御されている。

【0012】これにより、光増幅素子に入射するチャンネル数が変動しても各チャンネルの出力パワーは一定に保たれる。

【0013】本発明の他の実施態様によれば、前記光分波器は、入力した波長を1波ずつに分離する波長分離素子と、前記波長分離素子からの光を所定のグループごとに合波する複数の光合波素子で構成されている。

【0014】本発明の他の実施態様によれば、光増幅器は、前記光分波器への入力光の一部を取り出すための光カプラと、取り出された光に含まれる複数の光の各波長を検出する波長検出手段と、前記光カプラの他方の分岐出力に接続される前記波長分離素子と前記波長合波素子の間に設けられた光スイッチと、前記波長検出手段の信号を用いて前記光スイッチにより前記複数の光増幅素子へ入射する波長数をそれぞれ制御する制御手段をさらに有する。

【0015】動作中に光増幅器に入射するチャンネル数または波長配置が変化すると、波長検出手段がそれを検出する。この検出情報と光増幅素子である光増幅素子の増幅帯域や飽和出力パワー情報から、制御手段が各光増幅素子へ入射するチャンネルを決定し光スイッチの経路を切り替える。

【0016】本発明の他の実施態様によれば、前記光分波器は、入力光を複数に分岐する光分岐回路と、前記光分岐回路の出力に接続され、所定の帯域を切り出す複数の光バンドパスフィルタで構成される。

【0017】本実施態様では、各光部品が廉価であり、また分割帯域を光バンドパスフィルタの透過帯域および透過中心波長によって自由に設定でき、さらに、透過中心波長および透過帯域を可変とする光バンドパスフィルタを用いることにより、さまざまな波長配置の複数のシステムに一種の光増幅器で柔軟に対応することができる。

【0018】本発明の他の実施態様によれば、前記設定は、光バンドパスフィルタの透過中心波長および帯域を自由に設定できる。

【0019】本発明の他の実施態様によれば、前記光バンドパスフィルタの透過中心波長および帯域を縦続に接続された、透過帯域が固定で透過中心波長を自由に設定できる2つの光バンドパスフィルタの透過中心波長の制御によって行う。

【0020】本発明の他の実施態様によれば、光分波器への入力光の一部を取り出す光カプラと、取り出された光に含まれる複数の波長を検出する波長検出手段を備え、前記複数の光増幅素子に入射する波長数を前記光バンドパスフィルタの透過中心波長および帯域によって制御する。

【0021】この構成によって、光増幅器へ入射するチャネル数や波長が変動しても、各チャネルの出力パワーを落すことなく一定に保つことができる。

【0022】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0023】図1は本発明の第1の実施形態の光増幅器の構成図、図2は図1の光増幅器における増幅器の帯域分割のイメージを表す図である。

【0024】本実施形態の光増幅器は、複数の波長を多重した光を複数のグループに分離する光分波器である光分波回路1Aと、各グループの光を増幅する光増幅素子であるEDFA4および半導体レーザ増幅器5₁、5₂と、EDFA4および半導体レーザ増幅器5₁、5₂で増幅された光を波長多重する光合波器である光合波回路6Aで構成されている。

【0025】光分波回路1Aでは、AWG(Arrayed Waveguide Grating) 2によって一旦全チャネルを分離した後AWG3₁～3₃でグループごとに波長を多重する。波長領域は1530nmから1560nmまでを第1のグループ21とし、その帯域外は4波程度ずつ第2のグループ22、第3のグループ23にまとめる。第1のグループ21の光はEDFA4で増幅し、第2、第3のグループ22、23の光は半導体レーザ増幅器5₁、5₂で増幅する。これらの光増幅器4、5₁、5₂からの出力光を光合波回路6Aによって合波する。光合波回路6Aは、光分波回路1Aの入出力を逆にした構成となっており、各グループ21、22、23の光をAWG7₁、7₂、7₃で分離した後AWG8で全ての波長を合波する。この構成は、EDFAの高飽和出力特性を生かして分割グループ数を最少としていることが特徴である。

【0026】また、本実施形態において光増幅器4、5₁、5₂のゲインが一定となるよう制御すれば、各光増幅器4、5₁、5₂に入射するチャネル数が変動しても各チャネルの出力パワーは一定に保たれる。光増幅器4、5₁、5₂のゲインを一定に保つ方法としては、例えば光増幅器4、5₁、5₂から発生する自然放光(ASE)のパワーを一定に保つように光増幅器4、5₁、5₂の励起電流を制御するなどが挙げられる(中林、「光増幅装置と光増幅器設計方法と光ファイバ中継伝送方式」特願平5-330275)。

【0027】図3は本発明の第2の実施形態の光増幅器の構成図である。本実施形態は複数の光増幅素子として光半導体レーザ増幅器アレイ30を用いたものである。入射光は4波づつのグループに分割されて半導体レーザ増幅器アレイ30に入射される。EDFAを用いる場合に比べて増幅素子数は増えるが、増幅器全体としては小型になる。

【0028】ところで、AWGの特定のポートから各出

力ポートへの透過特性は図4に示すように周期性をもつ。ここで、例えば図4の第1の出力ポートの透過特性41や第2の出力ポートの透過特性42に示すような周期8Δλ(Δλ:分離波長間隔)のAWGに、間隔Δλで並ぶ32波長多重の光が入射した場合、第1から第8のポートに8Δλで並ぶ8つの4波多重光が得られる。このようにして、AWG1段で波長多重を分割することができる。分割された光には広い波長範囲にわたる光が含まれるが、これらを増幅するのに帯域の広い半導体レーザ増幅器を用いればよい。したがって、図5のように光合波回路1Bに1段のAWG2を、光分波回路6Bに1段のAWG8を、光増幅素子に半導体レーザ増幅器アレイ30を用いて小型、広帯域の光増幅器を構成することができる。

【0029】図6は本発明の第3の実施形態の光増幅器の構成図である。本実施形態は波長ルーティング光ネットワークに適用した例である。

【0030】基本構成は図1に示す第1の実施形態と同じで、光増幅器の入力に光カプラ63を設けて入力光の一部を取り出す。これを光波長検出器61に入射して、入力光中に含まれるチャネル数および波長を検出する。光波長検出器61は、例えば図7のように固定配置された回折格子70とアレイの光検出器71(もしくはCCDでもよい)で構成され、入射光の光スペクトルを測定し、この光スペクトルを信号処理回路72で処理することによって、入射光に含まれる波長数や各チャネルの波長を検出する。光分波回路1CではAWG2とAWG3₁～3₃の間に光スイッチ60が設けられている。動作中に光増幅器に入射するチャネル数または波長配置が変化すると、波長検出器61がそれを検出する。制御回路62は、この検出情報と光増幅素子であるEDFA4や半導体レーザ増幅器5₁、5₂の飽和出力と各チャネルの所要出力から決まる各光増幅素子への最大入力波長から、各光増幅素子へ入射するチャネルを決定し光スイッチ60の経路を切り替える。この切り替えによって、各光増幅素子へ入射する波長数が制御される。この結果、各チャネルの出力パワーは光増幅素子の飽和出力に制限されることなく所要の値とすることができる。

【0031】本実施形態は、本増幅器が使われる光ネットワークでシステム全体で使用される波長数nに対して光増幅器へ一度にm(m<n)波しか入射しないようなシステムに使用する場合に最も有効である。ここで、各光増幅素子に入射できる最大波長数をkとする。波長領域の割りあてが固定である場合、n波の波長の割りあて方によって、光増幅素子の数は最低でもn/k個、最大n個を必要とする。これに対して、本実施形態のように波長領域割りあてが可変であると、つねに各光増幅素子にk個の波長を入射するようにできるので、光増幅素子はm/k個用意すればよくこれはn波の割りあて方にはよらない。すなわち、光増幅素子数を大幅に減らすこと

ができるのである。

【0032】図8は本発明の第4の実施形態の光増幅器の構成図である。本実施形態の光分波回路1Dと光合波回路6Dでは、入射光をグループに分割する手段として光カプラ80による光の分岐と光バンドパスフィルタ81による帯域の切り出しを用いる。図1に示すAWGを用いる構成に比べると、本実施形態では光増幅素子へ入射する信号のレベルが下がるため出力光SN比が劣化するという欠点があるものの、各光部品が廉価であり、また分割帯域を光バンドパスフィルタ81の透過帯域および透過中心波長によって自由に設定できるという利点を有する。さらに、透過中心波長および透過帯域を可変とする光バンドパスフィルタを用いることにより、さまざまな波長配置の複数のシステムに一種の光増幅器で柔軟に対応することができる。

【0033】しかし、現在広く用いられている干渉膜型の光バンドパスフィルタでは、光フィルタの透過中心波長は可変とすることができないものの、透過帯域を自由に变化させることは難しい。そこで、図9に示すように透過中心波長を可変することができる透過帯域の等しい2つの光バンドパスフィルタ90、92を縦続接続させる。前段のフィルタ90の透過特性91および後段フィルタ92の透過特性93を図9中に示す。2段フィルタ90、92の透過後の特性は以下になる。

【0034】透過中心波長 $= (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$
 透過帯域 $= \Delta\lambda - |\lambda_1 - \lambda_2|$

ここで、 λ_1 はフィルタ90の透過中心波長、 λ_2 はフィルタ92の透過中心波長、 $\Delta\lambda$ はフィルタ90、92の透過帯域である。これにより、透過中心波長と透過帯域は λ_1 と λ_2 によって自由に变化させることができる。

【0035】図10は、本発明の第5の実施形態の光増幅器の構成図である。本実施形態の光分波回路1Eに光カプラ80と透過中心波長および透過帯域を可変とする光フィルタ100を用いた場合の光増幅器を、図6に示した本発明の第3の実施形態のように波長ルーティング光ネットワークに用いる場合の例である。本実施形態においても、図6と同じように増幅器入力に光カプラ63を設け、分岐した光に含まれるチャネル数と波長を波長検出器61によって検出する。制御回路62はこの情報および各光増幅器の飽和出力と各チャネルの所要出力から決まる各光増幅素子への最大入力波長から光増幅素子であるEDFAや半導体レーザ増幅器51、52にちょうど最大入射波長数が入射するように割り当て帯域を決定し、この決定にしたがって光バンドパスフィルタ100の透過中心波長および透過帯域を制御する。この構成によって、光増幅器へ入射するチャネル数や波長が変動しても、各チャネルの出力パワーを落すことなく一定に保つことができる。

【0036】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、広い範囲にわたる波長多重信号を出力パワーを落すことなく一括増幅することが可能になるため、増幅器出力レベルで決定される信号対雑音比が劣化せず、この結果、波長多重光の光直接増幅伝送において伝送容量の拡大および伝送距離の延長が達成される効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態の光増幅器の構成図である。

10 【図2】図1の光増幅器における増幅時の帯域分割のイメージを表す図である。

【図3】本発明の第2の実施形態の光増幅器の構成図である。

【図4】AWGの各ポートの透過特性、特にその周期性を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施形態の応用例を示す図である。

【図6】本発明に第3の実施例の光増幅器の構成図である。

20 【図7】入力光中に含まれる波長数と各チャネルの波長を検出する光波長検出器の一構成例を示す図である。

【図8】本発明の第4の実施形態の光増幅器を示す図である。

【図9】透過中心波長および透過帯域を自由に設定することのできる光バンドパスフィルタの一構成例を示す図である。

【図10】本発明の第5の実施形態の光増幅器の構成図である。

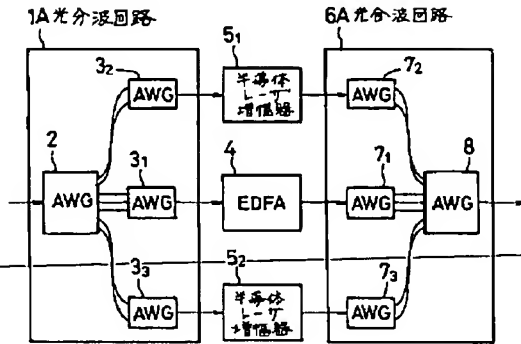
【符号の説明】

- | | | |
|----|------------|---------------------------|
| 30 | 1A～1E | 光分波回路 |
| | 2 | AWG |
| | 31～33 | AWG |
| | 4 | エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA) |
| | 51, 52 | 半導体レーザ増幅器 |
| | 6A, 6B, 6D | 光合波回路 |
| | 71～73 | AWG |
| | 8 | AWG |
| | 20 | 多重された光のスペクトル |
| | 21 | 第1のグループとして増幅される波長帯域 |
| | 22 | 第2のグループとして増幅される波長帯域 |
| | 23 | 第3のグループとして増幅される波長帯域 |
| | 30 | 半導体レーザ増幅器アレイ |
| | 41 | AWGの入力ポートから第1の出力ポートへの透過特性 |
| | 42 | AWGの入力ポートから第2の出力ポートへの透過特性 |
| | 60 | 光SW |
| | 61 | 光波長検出器 |
| | 62 | 制御回路 |
| 50 | 63 | 光カプラ |

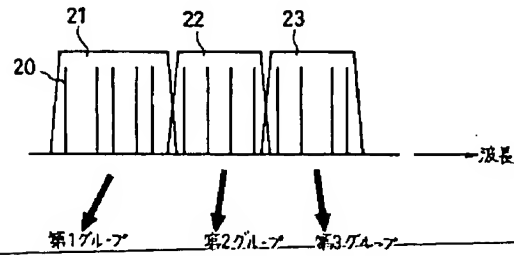
- 70 回折格子
 71 光検出器アレイ
 72 信号処理回路
 80 光カプラ
 81₁～81₃ 光バンドパスフィルタ
 90 第1の光バンドパスフィルタ

- 91 第1の光バンドパスフィルタ90の透過特性
 92 第2の光バンドパスフィルタ
 93 第2の光バンドパスフィルタ92の透過特性
 94 縦続接続後の光バンドパスフィルタの透過特性
 100₁～100₃ 透過中心波長、透過帯域が可変である光バンドパスフィルタ

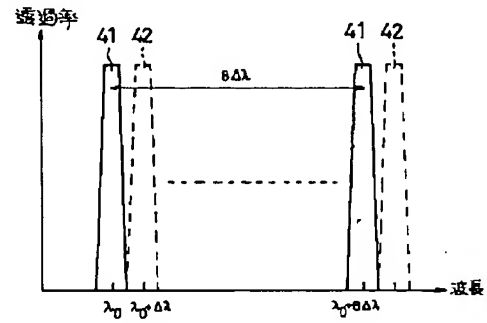
【図1】



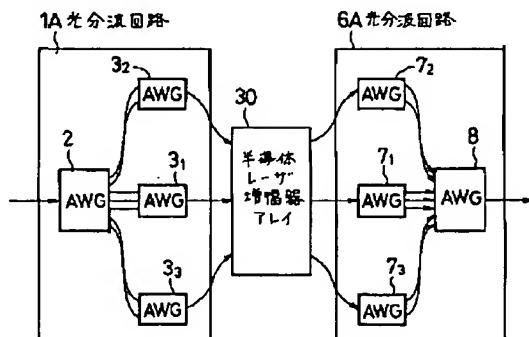
【図2】



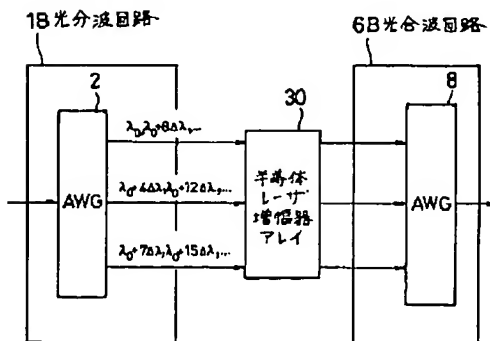
【図4】



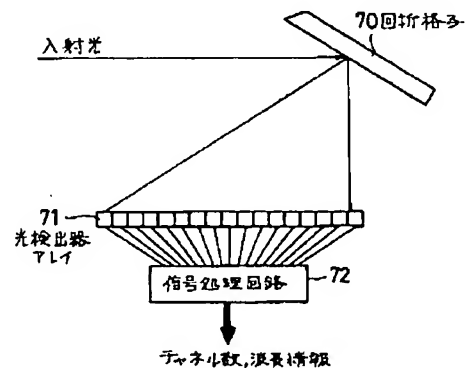
【図3】



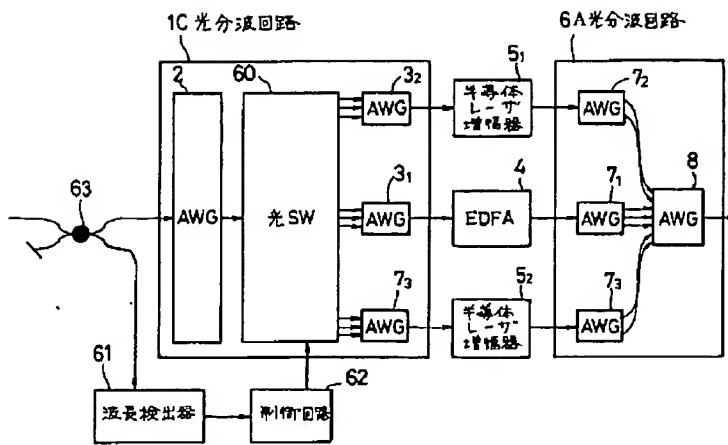
【図5】



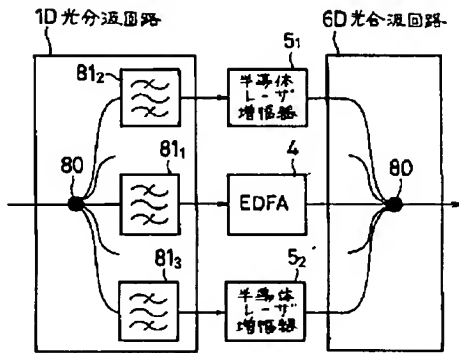
【図7】



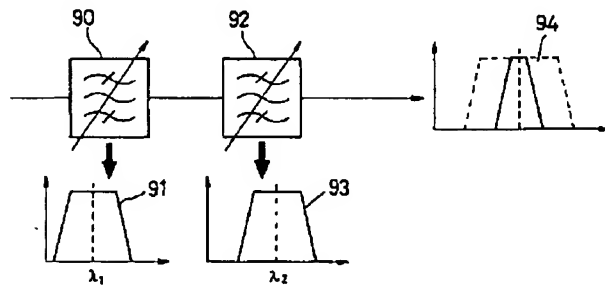
【図6】



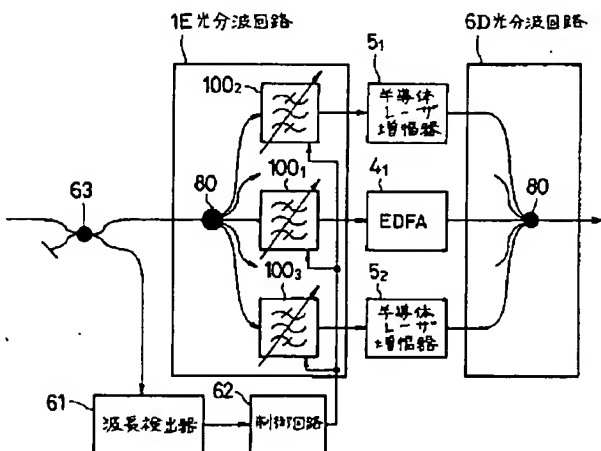
【図8】



【図9】



【図10】



PAT-NO: JP410013357A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10013357 A
TITLE: OPTICAL AMPLIFIER
PUBN-DATE: January 16, 1998

INVENTOR-INFORMATION:
NAME
FUKUCHI, KIYOSHI

ASSIGNEE-INFORMATION:
NAME
NEC CORP

COUNTRY
N/A

APPL-NO: JP08162611
APPL-DATE: June 24, 1996

INT-CL (IPC): H04B010/17, H04B010/16 , H04J014/00 ,
H04J014/02

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the optical amplifier with a simple configuration which amplifies a wavelength multiplex signal over a broad band is amplified altogether and outputs a high power signal light in an optical fiber communication system, especially a wavelength multiplex optical fiber communication system.

SOLUTION: In an optical demultiplexer circuit 1A, all channels are once demultiplexed by, e.g. an arrayed waveguide grating(AWG) 2 and wavelength multiplex processing is conducted for each group by AWGs 3<SB>1</SB>-3<SB>3</SB>. The demultiplexed wavelength

groups are amplified by
an erbium doped optical fiber amplifier 4 being a proper
optical amplifier
element and semiconductor laser amplifiers 5<SB>1</SB>,
5<SB>2</SB> in response
to each wavelength band and demultiplexed again by an
optical-multiplexer
circuit 6A.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the optical amplifier for wavelength multiplex transmission which transmits by carrying out multiplex [of two or more wavelength] especially about the optical amplifier used for optic fiber communication equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, development of the optical direct amplification junction transmission system using this EDFA as a repeater of an optic fiber communication system is briskly furthered with the miniaturization of erbium-doped optical fiber amplifier (Following EDFA is called), and high-performance-izing. Since an optical direct amplification junction transmission system does not choose the modulation technique or modulation rate of a signal to relay, utilization has already begun-it-as-a-high-transmission-system-of-flexibility. Since EDFA used here can amplify the light covering 20 to 30nm, and a large wavelength range, it can amplify collectively the signal light which carried out wavelength multiplexing. Taking advantage of this feature, research of the wavelength multiplexing optic fiber communication system to which the capacity which can be transmitted with one optical fiber by wavelength multiplex transmission is expanded is active. For example, the 55-wave multiple signal (a total of 1.1 Tbps(es)) modulated with the modulation rate of 20Gbps in the wavelength range of 33nm of EDFA which hits all amplification bands mostly The example of an experiment which carried out junction transmission over 150km of optical fibers is reported recently (H.). [Onaka, et.al,] ["1.1 Tb/sWDM Transmission over a 150km 1.3 mm Zero-Dispersion] Single-Mode Fiber, "Optical Fiber Communication Conference OFC'96, postdeadline papers, PD19, San Jose, CA, and 1996.

[0003] In such a wavelength multiplex transmission system, the output power of an optical repeater serves as an important parameter of a system. In an optical direct amplification junction transmission system, the spontaneous emission light (Following ASE is called) which serves as a noise from an optical repeater occurs, and the signal-to-noise ratio (following SN ratio) of transmission light is degraded. For this reason, it is necessary to keep the signal output level from an optical repeater to some extent high. When amplifying wavelength multiplexing light collectively especially, in proportion to the number of channels to input, high saturation power power is required of an optical amplifier. On the other hand, in EDFA, the example of the amplifier with which the maximum optical output power exceeds 23dBm (200mW) is reported by high performance-ization of the excitation light source, and it is an optical amplifier suitable for wavelength multiplex transmission.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] When the further expansion of transmission capacity will be required by wavelength multiplex transmission from now on, since that amplification band is restricted with about 30nm, transmission capacity is restricted by the limit of the number of wavelength which can be arranged in this band by existing EDFA. A wavelength gap will mainly be restricted by the stroke from a contiguity channel, and the minimum value will be about 3 times the transmission speed. For example, the number of maximum wave length which transmission speed can arrange to a 30nm band to 20Gbps is set to 63, and the maximum of the total transmission capacity serves as 1.26Tbps(es). Therefore, in order to attain larger transmission capacity, a wide band is required by the optical amplifier.

[0005] On the other hand, the semiconductor optical amplifier has the large amplification band of 100nm, and is a suitable device to the above-mentioned purpose. However, since saturation optical output level is as low as several dBm compared with EDFA, if semiconductor amplifier carries out package amplification of the multi-wavelength multiple signal, the maximum output power per channel will become small sharply. Consequently, since the signal-to-noise ratio in the inside of a transmission line deteriorates sharply, good transmission is unrealizable unless evasion measures, such as shortening a repeating span, are used.

[0006] The purpose of this invention is to offer the optical amplifier [the output power which can maintain an SN ratio required for transmission for the wavelength multiple signal covering a large range] which can carry out package amplification.

[0007]

[Means for Solving the Problem] An optical amplifier of this invention has an optical separator which carries out wavelength multiplexing of the light from two or more optical amplification elements which amplify light from an optical separator which divides into two or more groups containing one or more waves light which carried out multiplex [of two or more wavelength], and said each optical separator, and said two or more optical amplification elements.

[0008] An optical amplifier of this invention amplifies by separate optical amplification element for every wavelength which divides a band of a signal to amplify and is contained in each band. With each optical amplification element, the number of wavelength which carries out incidence by power per [which the saturation power power and system need] channel is

determined. With an optical multiplexing vessel, wavelength multiplexing of such light amplified separately is carried out, and they is sent out to a transmission line. It can consider as a value which a system needs, without restricting output power of each channel by saturation power power of an optical amplifier by taking this configuration. An optical amplification element has a limit at the maximum power in which an output is possible as a Prior art described. When amplifying wavelength multiplexing light for this property (for example, n wave), the maximum output of each wave is set to $1/n$ of saturation power. That this value does not fulfill a necessary value of a system poses a problem. On the other hand, two or more optical amplification elements are prepared like this invention, and if the number of wavelength which carries out incidence to each optical amplification element is suitably restricted according to saturation power, all channels can be considered as a necessary output of a system. In other words, a limit of saturation power power of each optical amplification element would not be received, but package amplification of a wavelength multiplet has been performed.

[0009] By the way, if the number of channels of wavelength multiplexing light used and wavelength of each channel are immobilization, as for a configuration, it will be decided in this invention that an optical separator will also be a meaning. On the other hand, in an optical network using wavelength routing by which current research is done, since pass changes with the partners who communicate, the number of channels and wavelength which carry out incidence to an optical amplifier in a transmission line are changed. Usually, since it is controlled by optical amplifier so that full power power becomes fixed, if the number of wavelength which carries out incidence to an optical amplification element is changed, power of each channel will also be changed. In order to suppress this fluctuation, a function to detect the number of channels and wavelength is prepared in the input section of an optical amplifier, and a division band is controlled by optical separator according to this information. Thereby, power of each channel is maintained at constant value in an optical amplification element output.

[0010] That is, since the amplification factor which each wavelength receives is fixed even if the number of wavelength which carries out incidence to an element changes if an optical amplification element is controlled to amplification factor regularity, output power is kept constant if input control power to an element does not change. Although input control power to an element is usually decided by loss of an output level of an optical transmitter of the preceding paragraph, or an optical amplifier, and a transmission-line optical fiber, since these hardly change, input control power serves as constant value, and, as a result, becomes fixed [an output]. In the case of an optical amplifier, control of full power power regularity is usually performed, but if the number of wavelength which will be inputted into an element if it does so changes, power per each channel will change.

[0011] According to the embodiment of this invention, said optical amplification element is controlled so that an amplification factor becomes fixed.

[0012] Even if it changes by this the number of channels which carries out incidence to an optical amplification element, output power of each channel is kept constant.

[0013] According to other embodiments of this invention, said optical separator consists of a wavelength separation element which divides inputted wavelength into one wave at a time, and two or more optical multiplexing elements which multiplex light from said wavelength separation element for every predetermined group.

[0014] According to other embodiments of this invention, an optical amplifier An optical coupler for taking out a part of input light to said optical separator, and a wavelength detection means to detect each wavelength of two or more light contained in taken-out light, It has further an optical switch formed between said wavelength separation element connected to a branching output of another side of said optical coupler, and said wavelength multiplexing element, and a control means which controls the number of wavelength which carries out incidence to said two or more optical amplification elements with said optical switch using a signal of said wavelength detection means, respectively.

[0015] If the number of channels or wavelength arrangement which carries out incidence changes to an optical amplifier working, a wavelength detection means will detect it. A control means determines a channel which carries out incidence to each optical amplification element, and changes a path of an optical switch from this detection information, and an amplification band and saturation power power information on an optical amplification element which is an optical amplification element.

[0016] According to other embodiments of this invention, it connects with an output of an optical branch circuit which branches input light to plurality, and said optical branch circuit, and said optical separator consists of two or more optical band pass filters which start a predetermined band.

[0017] With this operation aspect, each optical component is cheap, and a division band can be freely set up with a transparency band and transparency center wavelength of an optical band pass filter, and it can respond to two or more systems of various wavelength arrangement flexibly with a kind of optical amplifier further by using an optical band pass filter which makes adjustable transparency center wavelength and a transparency band.

[0018] According to other embodiments of this invention, said setup can set up freely transparency center wavelength and a band of an optical band pass filter.

[0019] According to other embodiments of this invention, a transparency band where transparency center wavelength and a band of said optical band pass filter were connected to concatenation carries out by control of transparency center wavelength of two optical band pass filters which can set up transparency center wavelength freely by immobilization.

[0020] According to other embodiments of this invention, it has a wavelength detection means to detect an optical coupler which takes out a part of input light to an optical separator, and two or more wavelength contained in taken-out light, and the number of wavelength which carries out incidence to said two or more optical amplification elements is controlled by transparency center wavelength and a band of said optical band pass filter.

[0021] Even if it changes the number of channels and wavelength which carry out incidence to an optical amplifier by this configuration, it can be kept constant, without dropping output power of each channel.

[0022]

[Embodiment of the Invention] Next, the gestalt of operation of this invention is explained with reference to a drawing.

[0023] It is drawing showing the image of band division of amplifier [in / drawing 1 , and / in drawing 2 / the optical amplifier of drawing 1]. [the block diagram of the optical amplifier of the 1st operation gestalt of this invention]

[0024] The optical amplifier of this operation gestalt is optical branch circuit 1A which divides into two or more groups the light which carried out multiplex [of two or more wavelength] and which is an optical separator, EDFA4 which is the optical amplification element which amplifies each group's light and a semiconductor laser amplifier 51, and 52. EDFA4 and a semiconductor laser amplifier 51, and 52 It consists of optical multiplexing circuit 6A which is the optical multiplexing machine which carries out wavelength multiplexing of the amplified light.

[0025] Once AWG (Arrayed Waveguide Grating) 2 separate all channels in optical branch circuit 1A, it is AWG 31-33. It carries out multiplex [of the wavelength] for every group. A wavelength field makes from 1530nm to 1560nm the 1st group 21, and the band outside is summarized in the 4 wave degree [every] 2nd group 22, and the 3rd group 23. Amplifying the 1st group's 21 light by EDFA4, the 2nd and 3rd group's 22 and 23 light is a semiconductor laser amplifier 51 and 52. It amplifies. these optical amplifiers 4 and 51 and 52 from -- output light is multiplexed by optical multiplexing circuit 6A. Optical multiplexing circuit 6A has composition which made reverse I/O of optical branch circuit 1A, and is each groups' 21, 22, and 23 light AWG71, 72, and 73 After dissociating, all wavelength is multiplexed by AWG8. It is the feature that this configuration makes division group number the minimum taking advantage of the high saturation power property of EDFA.

[0026] Moreover, it sets in this operation gestalt and is optical amplifiers 4 and 51 and 52. If it controls so that gain becomes fixed, it will be each optical amplifiers 4 and 51 and 52. Even if it changes the number of channels which carries out incidence, the output power of each channel is kept constant. optical amplifiers 4 and 51 and 52 as the method of keeping gain constant -- optical amplifiers 4 and 51 and 52 from -- the power of the spontaneous emission light (ASE) to generate is kept constant -- as -- optical amplifiers 4 and 51 and 52 Controlling an exciting current etc. is mentioned (Nakabayashi, "light amplifier, optical amplifier-layout-method, and optical fiber junction transmission-system" Japanese Patent Application No. 5-330275).

[0027] Drawing 3 is the block diagram of the optical amplifier of the 2nd operation gestalt of this invention. This operation gestalt uses the optical semiconductor laser amplifier array 30 as two or more optical amplification elements. Incident light is divided into an every four waves group, and incidence is carried out to the semiconductor laser amplifier array 30. Although the number of amplifiers increases compared with the case where EDFA is used, as the whole amplifier, it becomes small.

[0028] By the way, the transparency property from the specific port of AWG to each output port has periodicity, as shown in drawing 4 . Here, when the light of 32 wavelength multiplexing located in a line with AWG of periodic $8\Delta\lambda$ ($\Delta\lambda$: separation wavelength gap) as shown in the transparency property 41 of the 1st output port of drawing 4 or the transparency property 42 of the 2nd output port by gap $\Delta\lambda$ carries out incidence, eight 4 Shigemitsu Namita who ranks with the 1st to 8th port by $8\Delta\lambda$ is obtained. Thus, wavelength multiplexing can be divided by one step of AWG. What is necessary is just to use the large semiconductor laser amplifier of a band for amplifying these, although the light covering a large wavelength range is contained in the divided light. Therefore, like drawing 5 , in optical multiplexing circuit 1B, one step of AWG8 can be used for optical branch circuit 6B, the semiconductor laser amplifier array 30 can be used for an optical amplification element for one step of AWG2, and the optical amplifier of small and a broadband can be constituted.

[0029] Drawing 6 is the block diagram of the optical amplifier of the 3rd operation gestalt of this invention. This operation gestalt is the example applied to the wavelength routing light network.

[0030] A basic configuration is the same as the 1st operation gestalt shown in drawing 1 , forms the optical coupler 63 in the input of an optical amplifier, and takes out a part of input light. Incidence of this is carried out to the light wave length detector 61, and the number of channels and wavelength which are contained in input light are detected. The light wave length detector 61 detects the number of wavelength contained in incident light, and the wavelength of each channel by consisting of photodetectors 71 (or CCD being sufficient) of the diffraction grating 70 placed in a fixed position like drawing 7 , and an array, measuring the optical spectrum of incident light, and processing this optical spectrum by the digital disposal circuit 72. At optical branch circuit 1C, they are AWG2 and AWG 31-33. The optical switch 60 is formed in between. If the number of channels or wavelength arrangement which carries out incidence changes to an optical amplifier working, the wavelength detector 61 will detect it. A control circuit 62 is EDFA4 and the semiconductor laser amplifier 51 which are this detection information and an optical amplification element, and 52. The channel which carries out incidence to each optical amplification element is determined, and the path of an optical switch 60 is changed from the maximum input wavelength to each optical amplification element decided from saturation power and the necessary output of each channel. The number of wavelength which carries out incidence to each optical amplification element is controlled by this change. Consequently, output power of each channel can be made into a necessary value, without being restricted to the saturation power of an optical amplification element.

[0031] This operation gestalt is the most effective when using it for a system which carries out incidence only of the m ($m < n$) wave at once to an optical amplifier to the wavelength of several n used by the whole system in the optical network where this amplifier is used. Here, the number of maximum wave length which can carry out incidence to each optical amplification element is set to k . When addressing to a rate of a wavelength field is immobilization, also at the lowest, the number of optical amplification elements is needed in a n/k individual and a maximum of n pieces depending on how to assign the wavelength of n wave. On the other hand, since incidence of the wavelength of k pieces can always be carried out to wavelength field assignment being adjustable like this operation gestalt at each optical amplification element, this is not based on how to assign n wave that an optical amplification element should just carry out m/k individual preparation. That is, an optical amplification element number can be reduced sharply.

[0032] Drawing 8 is the block diagram of the optical amplifier of the 4th operation gestalt of this invention. In optical branch circuit 1D of this operation gestalt, and optical multiplexing circuit 6D, branching of the light by the optical coupler 80 and logging of the band by the optical band pass filter 81 are used as a means to divide incident light into a group. Since the level of the signal which carry out optical amplification element HE incidence with this operation gestalt fall compared with the configuration using AWG show in drawing 1, although there be a defect that an output light SN ratio deteriorate, it have the advantage that each optical component be cheap and a division band can be freely set up with the transparency band and transparency center wavelength of the optical band pass filter 81. Furthermore, it can respond to two or more systems of various wavelength arrangement flexibly with a kind of optical amplifier by using the optical band pass filter which makes adjustable transparency center wavelength and a transparency band.

[0033] However, in the optical band pass filter of an interference membrane type used widely now, it is difficult for the transparency center wavelength of an optical filter to change freely the transparency band of what can be made adjustable. Then, cascade connection of the two equal optical band pass filters 90 and 92 of the transparency band which can carry out adjustable of the transparency center wavelength] as shown in drawing 9 is carried out. The transparency property 91 of the filter 90 of the preceding paragraph and the transparency property 93 of the latter-part filter 92 are shown in drawing 9. The property after transparency of the two-step filters 90 and 92 is as follows.

[0034] transparency center wavelength $= (\lambda_{1} + \lambda_{2}) / 2$ transparency band $= \Delta \lambda - |\lambda_{1} - \lambda_{2}|$ -- here --
 λ_{1} The transparency center wavelength of a filter 90, and λ_{2} The transparency center wavelength of a filter 92 and $\Delta \lambda$ are the transparency bands of filters 90 and 92. Thereby, transparency center wavelength and a transparency band are λ_{1} , λ_{2} . It can be made to change freely.

[0035] Drawing 10 is the block diagram of the optical amplifier of the 5th operation gestalt of this invention. It is an example in the case of using for a wavelength routing light network the optical amplifier at the time of using for optical branch circuit 1E of this operation gestalt the optical filter 100 which makes adjustable the optical coupler 80, transparency center wavelength, and a transparency band like the 3rd operation gestalt of this invention shown in drawing 6. Also in this operation gestalt, the wavelength detector 61 detects the number of channels and wavelength which are contained in the light which formed the optical coupler 63 in the amplifier input, and branched to it like drawing 6. A control circuit 62 is EDFA and the semiconductor laser amplifier 51 which are an optical amplification element from the maximum input wavelength to each optical amplification element decided from this information and the saturation power of each optical amplifier, and the necessary output of each channel, and 52. It assigns so that the number of the maximum incident wave length may carry out incidence exactly, and a band is determined, and the transparency center wavelength and the transparency band of the optical band pass filter 100 are controlled according to this decision. Even if it changes the number of channels and wavelength which carry out incidence to an optical amplifier by this configuration, it can be kept constant, without dropping the output power of each channel.

[0036]

[Effect of the Invention] As explained above, since it becomes possible to carry out package amplification of the wavelength multiple signal covering a large range, without dropping output power, this invention is effective in the signal-to-noise ratio determined with an amplifier output level not deteriorating, consequently expansion of transmission capacity and extension of a transmission distance being attained in optical direct amplification transmission of wavelength multiplexing light.

[Translation done.]